

## A UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO VISANDO O PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES COLETIVOS URBANOS

**Francisca Elizabeth Ferreira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Prefeitura Municipal de Teresina - Piauí.

Secretaria Municipal de Transportes Públicos

Av. Pedro de Freitas, 1227 - B. Vermelho - Teresina - PI  
64018-200

Tel.: (086) 223-5553 e 223-5755 - Ramal: 26

**Lucilene Antunes Correia Marques de Sá<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n - Cidade Universitária Recife - PE  
50740-530

Tel./Fax: (081) 271-8235

E-MAIL: LACMS@NPD.UFPE.BR

**Carlos Loch<sup>3</sup>**

<sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC.

Caixa Postal 476 - Centro Tecnológico - Campus Universitário  
Trindade - Florianópolis - SC  
Tel.: (0482) 31-9598

**RESUMO.** A pesquisa introduz no planejamento de transportes coletivos urbanos, ônibus, técnicas do Sensoriamento Remoto. A utilização destas técnicas possibilitou monitorar o crescimento urbano da Cidade de Teresina, Estado do Piauí, mostrando com ocorreu a expansão urbana, indicando as áreas com maior tendência ao adensamento populacional. Para tanto, foram utilizadas fotografias aéreas de várias épocas e imagem do satélite americano LANDSAT de 1990, sendo este o dado mais recente. O monitoramento forneceu dados sobre a ocupação urbana e o sistema viário principal, por onde o transporte coletivo urbano faz a maior parte do seu percurso. Os dados da situação sócio-econômica da área de estudo, é uma variável importante para estabelecer a demanda por viagem, o que foi pesquisada através do Cadastro Técnico Urbano. Juntos formaram a base de dados para o modelo matemático aplicado a rede de transporte, que definiu rotas possíveis de serem operacionalizadas, de acordo com a necessidade de locomoção dos usuários nas zonas Origem-Destino. A conclusão da pesquisa, originou a Dissertação de Mestrado defendida pela autora com orientação do Prof. Carlos Loch, na Universidade Federal de Santa Catarina, em outubro de 1992. Técnicas de Cartografia Automatizada foram aplicadas, posteriormente, aos resultados da pesquisa, na Universidade Federal de Pernambuco pela Profa. Lucilene Antunes C. M. de Sá.

**Abstract.** The object of this research is to develop a methodology to analyse an urban network for Teresina city, aiming its plan by bus. It is developed the monitoring process with remote sensing technics about air photgrafies and image orbital interpretation to know the urban structure. After studying the travel in urban area, the mathematical model applied to network was developed to get the possible operative routes to attend users into the system among the several origin and destination zones.

### 1. INTRODUÇÃO

O intenso processo de urbanização sofre a influência de diversos setores,

interferindo no desenvolvimento das cidades, desde do âmbito social, econômico, político, físico e espacial. As mudanças ocorridas reforçam a necessidade de uma constante revisão dos sistemas de transportes, e

quando necessário, a reformulação das situações instaladas.

O monitoramento, ou seja, a análise da evolução do espaço físico através de fotografias aéreas e imagens orbitais de épocas diferentes, quando possível, em intervalos regulares, fornecem informações sobre a superfície da terra, que podem agilizar as ações do planejamento em geral.

O emprego do monitoramento das cidades será em breve uma ferramenta imprescindível no planejamento de transportes urbanos. Os dados obtidos através desta técnica também fornecem base para aplicações em outras áreas relacionadas com conhecimento do uso do solo, como por exemplo o controle de seu uso para preservação dos recursos naturais.

A crescente diferenciação nos padrões de uso do solo representa um parâmetro de importância fundamental para a análise do crescimento das viagens urbanas.

À medida em que surgem novas atividades, apresentam-se novos movimentos, o que dá origem a demanda por transporte. Com isto, há necessidade de instalação de novas rotas de transportes coletivos visando o deslocamento dos usuários.

A primeira oferta da capacidade do transporte é dimensionada de forma teórica, tendo que ser revista na fase posterior à implantação, sendo possível adequar-se as necessidades, aprimorando a capacidade e compatibilizando o nível dos serviços prestados.

Na maioria das cidades brasileiras não existe um planejamento adequado dos sistemas de transportes. Com o crescimento da cidade, os problemas de locomoção de pessoas também aumentam, surgem necessidades de interferências na rede viária urbana, não apenas para acomodar o transporte coletivo, mas a circulação de pessoas e veículos como um todo.

O objetivo desta pesquisa foi acrescentar ao planejamento dos transportes coletivos urbanos técnicas de Sensoriamento Remoto. Para tanto, foi utilizada a metodologia do monitoramento da expansão urbana como suporte ao planejamento de redes de transportes urbanos, ônibus, para atender as

necessidades dos deslocamentos de pessoas, de acordo com a distribuição do uso do solo urbano.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

Teresina, capital do Estado do Piauí, situado na Região Nordeste do Brasil, localiza-se na zona fisiográfica do Médio Parnaíba, como mostra a Figura 01. A área urbana de Teresina está compreendida entre as seguintes Coordenadas Geográficas: Latitude 5°11'40" e 4°59'45"S e Longitude 42°51'45"E 42°41'43"W. Segundo o Censo de 1991, possuía 598.411 habitantes.

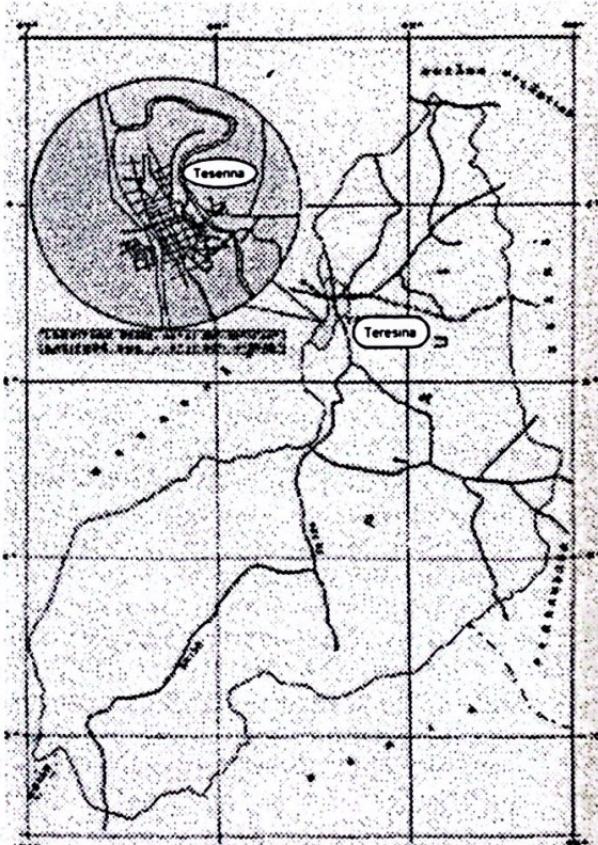


Figura 01 - Mapa de Localização

## 3. PLANEJAMENTO - ASPECTOS GERAIS

De acordo com GRAY E HOEL (1979), o transporte é o maior componente dinâmico dos sistemas de decisão e dos órgãos de planejamento. As facilidades de transportes são implementadas na medida que surgem novas necessidades, como resultado os problemas de transporte vêm agravando-se e sendo um dos componentes de maior estudo no planejamento da moderna cidade.

O processo de Planejamento de Transporte, de acordo com BARAT(1988), deve ser considerar a rede viária existente, bem como sua evolução. Contudo, é muito importante analisar as alterações verificadas no sistema econômico da região, os efeitos sobre a demanda de transportes, e as características próprias de cada modalidade.

O estágio do planejamento da rede viária envolve o desenvolvimento de redes alternativas, incluindo-se, no caso, as redes de transporte coletivo e os veículos particulares, BURTON(1979).

Nesta etapa são considerados os seguintes fatores: a densidade de viagens produzidas e atraídas a determinada área, a característica de uso do solo desta área, os critérios operacionais da rede, e os custos de investimentos. A forma como esses fatores são considerados e a influência exercida por cada um no planejamento das redes variam de acordo com a finalidade do estudo, conclui BURTON (1979).

Segundo BOTTERILL e BOWYER(1988), para o entendimento das interações entre os sistemas de transportes e as características demográficas espaciais têm sido utilizadas duas linhas de pesquisas complementares: o monitoramento espacial das áreas urbanas, chamado de sistema demográfico; e a modelagem deste sistema, com ênfase as integrações nos transportes - uso do solo.

#### 4. SENSORIAMENTO REMOTO

ANDERSON(1979), afirma que as fotografias aéreas são imagens permanentes, que registram a situação do espaço físico, numa determinada época, sendo, portanto, uma importante fonte de dados. Quando existe uma série de fotografias de diferentes épocas de uma mesma região, as transformações desta área podem ser detectadas e analisadas.

Com uma sequência de fotografias aéreas em intervalos regulares pode-se monitorar o uso do solo urbano, obtendo-se bons resultados. Os mapas produzidos apresentam precisão qualitativa adequada ao estudo do sistema viário; permitem observar as características do desenvolvimento e a extensão das mudanças do ambiente, como,

também, analisar a evolução da rede de transportes, afirmam LO e WU(1984).

Conforme LOCH(1988), as diferentes respostas espectrais dos sensores que produzem as imagens e a escala adequada ao tipo de trabalho, são determinantes na definição do sensor a ser utilizado. Os produtos do Sensoriamento Remoto que podem ser utilizados no levantamento do uso do solo são as fotografias aéreas, as imagens de satélite (LANDSAT, SPOT e SOYUZ), e os mosaicos de radar. As escalas destes produtos variam de grande a pequena escala.

De acordo com HERNANDES(1988), as imagens orbitais correspondentes às regiões do visível, como o canal 3 do LANDSAT-TM e às cena imageadas no infravermelho médio, canais 5 e 7, têm se caracterizado por apresentar dados relevantes para ao traçado das redes de drenagem e viária, nas áreas urbanas.

#### 4. METODOLOGIA

##### 4.1 - Monitoramento

O monitoramento teve como objetivo identificar a distribuição da ocupação urbana, o rede viária principal, o uso do solo, e as tendências de crescimento. Para tanto, necessário um embasamento bibliográficos para posterior interpretação das fotografias aéreas de: 1958, 1968, 1983 e da imagem do satélite americano LANDSAT-TM, de agosto de 1990. Para utilização desta técnica foram seguidos os itens abaixo descritos:

- a) primeiro saber se existiam fotografias aéreas, ou outro produto, que possibilitasse a análise da área de interesse;
- b) foram selecionadas as fotografias de épocas diferentes, e a imagem de satélite como informação mais recente;
- c) passo seguinte foi o reconhecimento e identificação dos elementos que definem a estrutura urbana como o sistema viário, uso e ocupação do solo, relevo e hidrografia. Para tanto, foram tomados como referência os parâmetros: tonalidade, textura, forma, tamanho e sombra;
- d) com base nestes dados foi feita a fotointerpretação dos elementos dentro do contexto urbano. Nesta etapa foi analisada a importância de cada elemento no processo de expansão da cidade; e

e) concluindo, foi elaborada a descrição dos elementos analisados. Esta descrição foi representada pelo mapa da estrutura urbana destacando os seguintes elementos: áreas institucionais, áreas de lazer, rede viária urbana; e rede viária regional.

No processo de fotointerpretação foram utilizados como auxílio os equipamentos: estereoscópio e lupa. O trabalho teve início com as fotografias de 1983, pois nesta época ocorreram as alterações mais significativas na estrutura viária.

A análise visual da imagem orbital foi elaborada com finalidade de verificar a utilidade deste produto no estudo da rede viária, e para identificação da expansão urbana da área de estudo.

#### 4.2 - Estudo da Demanda por Transporte Coletivo.

A demanda de passageiros de uma determinada modalidade de transporte é a quantidade de pessoas que dela se utilizam num dado período de tempo (anual, mensal, semanal, diário ou horário).

Para testar a metodologia proposta tomou-se por base a atualização da matriz de viagens por macrozona - modo ônibus - todos motivos referente ao horário de Pico da Manhã (6:30h às 7:30h), levantada pelo GEIPOT (1983/1984), para a cidade de Teresina, através do método de entrevista domiciliar. Na atualização utilizou-se como parâmetro o fator de crescimento populacional de cada zona de tráfego, e para determinar os futuros movimentos adotou-se - o método do fator médio de crescimento. De acordo com BURTON(1979), o método pode ser expresso da seguinte forma:

$$T_{i-j} = t_{i-j} \cdot \frac{E_i + E_j}{T_i}, \text{ onde: } E_i = \frac{T_i}{t_i} \text{ e } E_j = \frac{T_j}{t_j}$$

$T_{i-j}$  = número de viagens futuras da zona i para zona j;

$t_{i-j}$  = número de viagens existentes da zona i para a zona j;

$E_i, E_j$  = fatores de crescimento para as zonas i e j;

$T_i, T_j$  = movimentos futuros originados em i ou destinados a j;

$t_i, t_j$  = movimentos existentes originados em i ou destinados a j;

#### 4.3 - Processo de Alocação da Demanda por Viagens à Rede de Transporte

De posse do estudo efetuado com o monitoramento, identificou-se as formas de distribuição do uso do solo bem como suas tendências de crescimento. A partir daí foram lançados as rotas sobre a planta da área de estudo, ligando os diversos pares de zonas. Essas ligações foram efetuadas de forma a promover a integração dos demais polos geradores de tráfegos com as zonas residenciais, bem como, as ligações destas com os corredores de comércio.

Para um nível de serviço adequado, tomou-se como parâmetro de lotação máxima para o ônibus 62 passageiros numa viagem entre um determinado par O-D (origem-destino). De acordo CRUZ (1991), esta lotação corresponde ao nível de serviço "C", qualificado como um serviço regular.

O parâmetro tomado como base para a definição dos pares da matriz O-D apresenta uma demanda maior ou igual a 324 passageiros. Isto correspondente a 6 viagens com a lotação de 62 passageiros com uma frequência de 10 minutos no intervalo de uma hora. Tiveram alocadas rotas diretas, com frequência horária definida por:

$$FH_{ij} = \frac{D_{ij}}{60}, \quad \forall D_{ij} \geq 372 \text{ pass/h}$$

#### 4.4 - Resultados

Da análise dos dados obteve-se a avaliação do processo de expansão urbana no período considerado.

##### 4.4.1 - Ano de 1958

Nesta época o crescimento urbano foi condicionado pelo anel da Estrada de Ferro que liga Teresina à São Luís (EFSLT) e pelo os dois rios Poti que cortam a cidade e o Parnaíba, sendo o limite entre os estados do Piauí e Maranhão, onde existe uma área conurbana formada pelas cidades Teresina(PI) e Timon(MA).

A ocupação urbana, em 1958, ficava compreendida entre o anel circular da estrada de ferro e o Rio Parnaíba, seguindo o modelo original em tabuleiro de xadrez implantado na época da fundação da cidade. O núcleo central urbano, se apresentava de forma adensada com características de uso do solo misto, onde as atividades de comércio e os

serviços públicos se localizavam a partir das margens do Rio Parnaíba, e no entorno da Praça Marechal Deodoro da Fonseca, como é o caso do Mercado Público, da Fábrica de Tecelagem, e da Prefeitura Municipal de Teresina, dentre outros. As áreas residenciais situavam-se no entorno das Igrejas N. Sra. das Dores e São Benedito, ainda em fase de construção. No sentido norte desenvolviam-se a partir do Cemitério São José. A ocupação se expande de forma tímida na direção leste, inibida pelo traçado da linha férrea que dificultou a continuidade do arruamento e pelo Rio Poti. Surge apenas uma iniciativa de ocupação além do Rio Poti, estimulada pelo acesso da BR-343, é o início de um parcelamento do solo, no entorno do Hipódromo - Jockey Clube. (Figura 02).

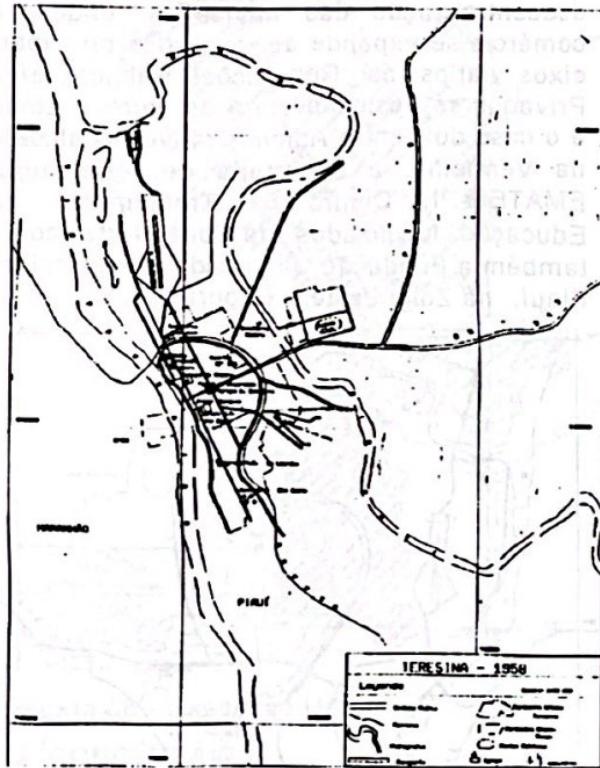


Figura 02 - Fotointerpretação em 1958

A rede viária básica que influenciou na expansão urbana, foi a Estrada de Ferro, a Av. Getúlio Vargas, que aparece em fase de construção, denominada mais tarde de Av. Frei Serafim, principal eixo de ligação do centro da cidade com a Zona Leste, servindo de divisa entre as zonas Norte e Sul. A Av. Rui Barbosa aparece como principal via de ligação entre o Centro e a Zona Norte e a partir do cruzamento desta com o anel

ferroviário, surge a estrada de acesso ao Aeroporto Santos Dumont denominada, mais tarde Av. Santos Dumont. Na Zona Sul surge a Av. Barão de Gurguéia a partir do prolongamento da Rua Rui Barbosa, que contribuiu para a valorização do solo desta zona. Pela Av. José dos Santos e Silva que se apresentava como principal via de ligação entre o Centro e o Bairro Piçarra, segundo núcleo comercial.

#### 4.4.2 - Ano de 1968

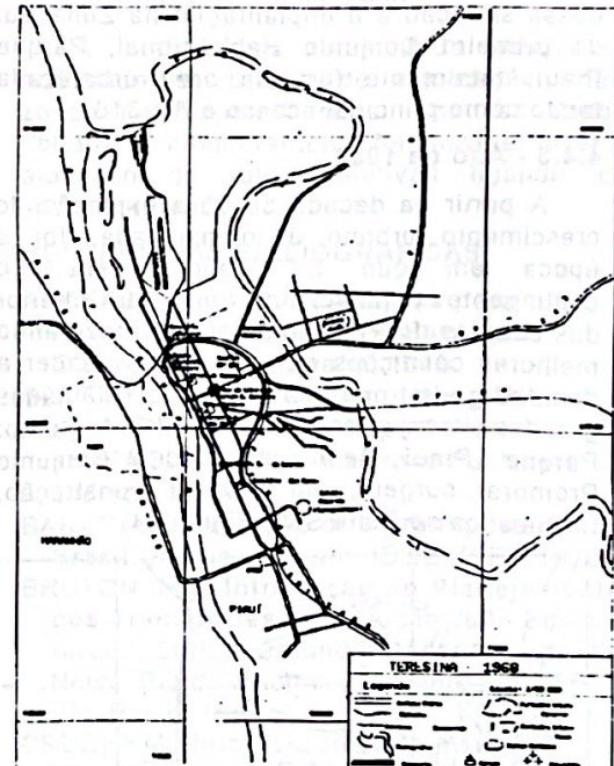


Figura 03 - Fotointerpretação ano 1968

A partir da década de 70, observam-se mudanças significativas na estrutura urbana. A Zona Norte aparece com uma infraestrutura de bairro mais definida e a ocupação se expande no entorno do Aeroporto. A Zona Sul se concretizou como uma área de expansão urbana, quando a partir da Av. Barão de Gurguéia se intensifica as formas de parcelamento do solo. Outro fator importante que influenciou a expansão no sentido sul, foi a construção de uma via de acesso que aparece na foto, seguindo o leito da Estrada de Ferro, já desativada, que dava origem mais tarde a Av. Miguel Rosa e se prolonga até encontrar a BR-316, também em fase de construção. (Figura 03).

Nessa época percebe-se que as áreas residenciais que se localizavam no núcleo urbano central, começam a se deslocar no sentido dos bairros, para dar lugar a expansão do setor comercial. As classes de maior poder aquisitivo se deslocaram no sentido da Zona Leste, passando ocupar os loteamentos implantados na BR-343, mais tarde denominada Av. João XXXIII, próximo do Jockey-Clube. Enquanto que, as classes de média e baixa renda se deslocaram na direção da zona Norte-Sul. Um exemplo forte dessa situação é a implantação na Zona Sul do primeiro Conjunto Habitacional, Parque Piauí, totalmente fora da área urbanizada tendo como principal acesso a BR-316.

#### 4.4.3 - Ano de 1983

A partir da década de 80 a explosão do crescimento urbano é intensificada, foi a época em que a cidade recebeu o contingente populacional vindo do interior dos estados do Piauí e Maranhão procurando melhores condições de vida. Para atender a demanda de moradia foram implantados grandes conjuntos habitacionais, como: Parque Piauí, Bela vista, Saci e Conjunto Promorar, surgem, em fase de construção, localizados na Zona Sul. (Figura 04).

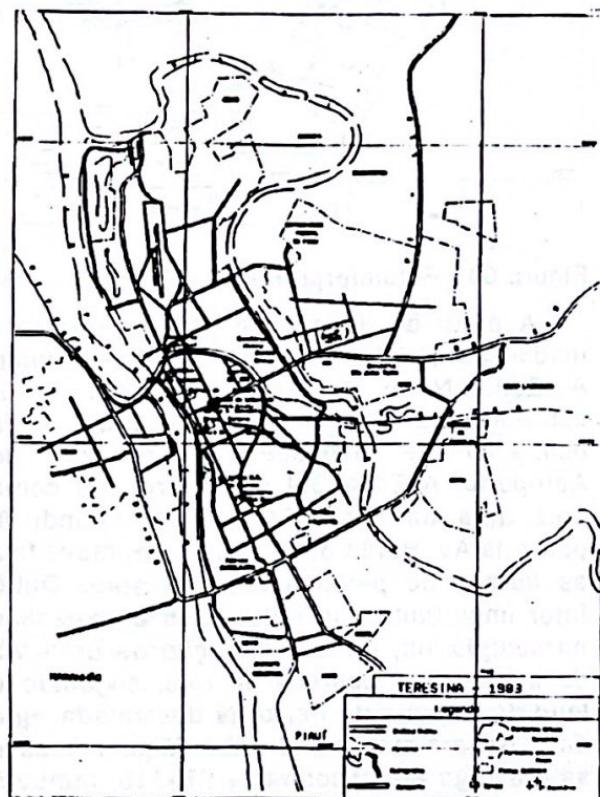


Figura 04 - Fotointerpretação do ano de 1983

O conjunto Moçambinho e Acarapé, na Zona Norte, e os conjuntos Itarará, Renascença I e II localizados na Zona Leste, são os que apresentam maior concentração da população de baixa renda, que utiliza o transporte coletivo como principal meio de deslocamento.

A implantação desses conjuntos habitacionais distantes dos espaços urbanos, fez com que surgissem os vazios urbanos gerando problemas de infra-estrutura viária e de oferta de transportes, além de estimular o crescimento do tipo horizontal da cidade.

#### 4.4.4 - Ano de 1990

Nessa época os vazios urbanos encontrados na década anterior foram preenchidos. É evidente a iniciativa de descentralização das atividades, onde o comércio se expande ao longo dos principais eixos viários, as Repartições Públicas e/ou Privadas se deslocam para os bairros, como é o caso do Centro Administrativo, localizado na Vermelha, a Secretaria de Agricultura, EMATER-PI, Centro de Treinamento da Educação, localizados na Zona Norte, como também a Fundação Universidade Federal do Piauí, na Zona Leste. (Figura 05).

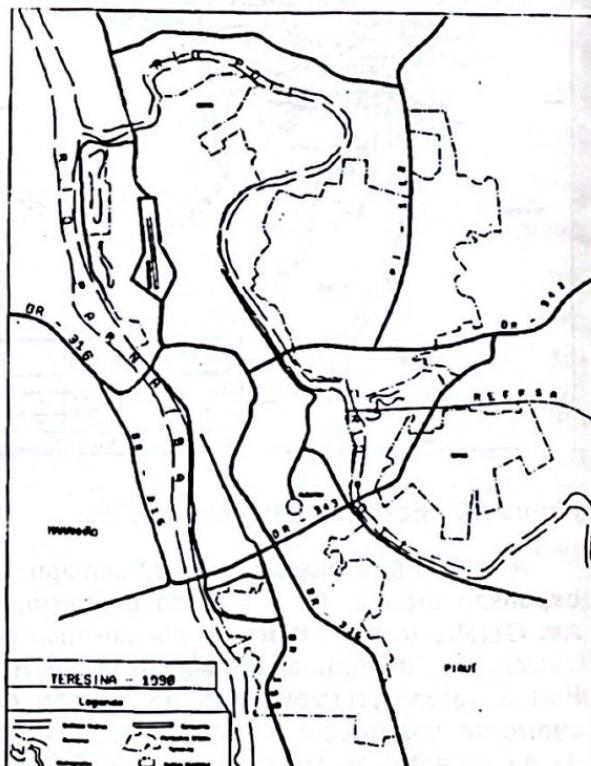


Figura 05 - Imagem ano 1990.

Aqui ficam evidentes os problemas com deslocamentos, em função das distâncias geradas e pelos padrões de distribuição de uso do solo. A partir dos elementos identificavam-se os principais pólos geradores de tráfegos, são: o Núcleo Central, o Centro Administrativo e o Setor Comercial da Av. Barão de Gurguéia, o Setor Comercial da Piçarra, o Setor Hospitalar, a Fundação Universidade Federal do Piauí, o Distrito Industrial e o Setor Cívico.

#### 4.4.5 - Expansão Urbana

A Figura 06, mostra a expansão urbana, dos anos de 1958, 1968, 1983, e 1990.

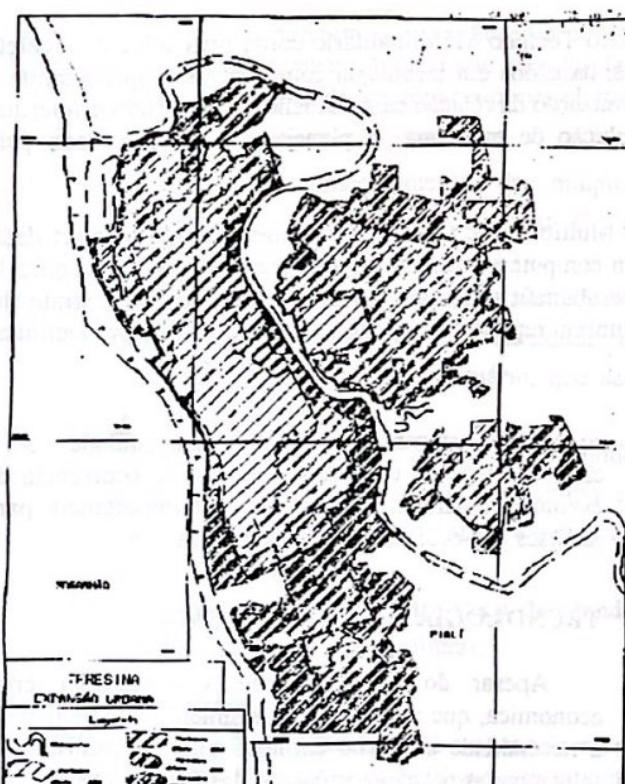


Figura 06 - Expansão Urbana

#### 5. CONCLUSÃO

O processo de monitoramento permitiu efetuar o acompanhamento das alterações ocorridas na estrutura viária, bem como do uso e ocupação do solo, nos últimos trinta e cinco anos da cidade de Teresina.

A análise com base nas imagens aéreas e orbital mostrou que o modelo de expansão da cidade é horizontal, favorecido pela topografia plana, o que estimula a ocupação dispersa. Esta forma de ocupação influencia diretamente nos padrões de viagem, com o aumento dos deslocamentos, o que acarreta

na necessidade de mais infra-estrutura viária, e na maior oferta de transporte.

O modelo da rede de transporte do tipo radial, que implica na concentração das linhas no centro da cidade, provoca congestionamentos. A área central vem diminuindo a capacidade de receber o volume de tráfego, uma vez que cresce o número de viagens do transporte coletivo e dos veículos particulares. Esta situação é agravada pelo modelo das quadras e as ruas estreitas no núcleo central.

A metodologia apresentada mostrou-se adequada ao estudo de locomoção entre zonas de Origem-Destino. Com os dados obtidos no monitoramento foi possível fazer a alocação de rotas seletivas ligando os setores urbanos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON.P.S. *Fundamentos para Fotointerpretação*, Vol.1, Sociedade Brasileira de Cartografia, 1979.  
BOTTERILL; BOWYER. *Monitoring Urban Spatial Dynamics Transportation*, 14:345-359, Kluwer Academic Publishers, Ordrect, 1988.  
BARAT, J.A *Evolução dos Transportes no Brasil*. Rio de Janeiro. IBGE, IPEA.1978.  
BRUTON, M.J. *Introdução ao Planejamento dos Transportes*. Tradução João Bosco Arruda, Carlos Braune e César Cals de O. Neto, Rio de Janeiro, Interciência. USP, São Paulo, 1979.  
CRUZ, A. *Modelo de Demanda Variável para Determinação da Oferta de Transporte Coletivo Urbano por Ônibus*. Dissertação de Mestrado, UFSC. Florianópolis, 1991.  
GRAY;HOEL. *Public Transportation: Planning, Operations, an Management*. Prentice Hall, EUA, 1979.  
HERNANDES FILHO, P. *Metodologia de Análise Visual de dados de Sensoriamento Remoto - Vegetação*. INPE/4696 - MD/037, 1988.  
LO,C.P.; WU, C.Y.; *New Town Monitoring from Sequencial Aerial Photographs*. Departmen of Geography and University Hong Kong.PE & RS, 1984.  
LOCH, C. *Pesquisa de Diversos Sensores (Landsat, Radar e Fotos Aéreas)*, bem como *Estudo das Potencialidades da Interpretação Geológica*.Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, 1982.